隔离饲养对白蜡窄吉丁成虫寿命和繁殖力的影响

路纪芳[1]，王小艺[1,*]，杨忠岐[1,*]，刘恩山[2]，包金梅[2]，
王俊苹[3]，刘云程[3]，张显文[3]

（1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所，国家林业局森林保护学重点实验室，北京 100091；
2. 天津市官港森林公园，天津 300274；3. 辽宁省凤城市赛马镇林业站，辽宁凤城 118113）

摘要：白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire 是近年来发生和危害严重的国际性检疫害虫。为了了解不同饲养条件和种内个体间相互感知对成虫生物学的影响，本研究采用群体饲养、单对饲养、无隔离单雌饲养、视觉隔离单雌饲养和嗅觉隔离单雌饲养等 5 种处理，在室内测定了白蜡窄吉丁成虫的寿命、取食量、产卵量和产卵历期等参数的变化。结果显示：隔离饲养降低了白蜡窄吉丁成虫的寿命和繁殖力，且不同处理下白蜡窄吉丁成虫的寿命和取食量均存在显著差异($P<0.05$)，但产卵量的差异不明显($P>0.05$)。其中无隔离单雌饲养时成虫的平均寿命最长，为 32.40 d，群体饲养的寿命最短，为 20.77 d，且单雌饲养的寿命均比单对饲养和群体饲养的长。单雌饲养的 3 种情况下，视觉隔离条件下的日均取食量最大，为 156.16 mm^2，嗅觉隔离的最小，为 107.35 mm^2；无隔离饲养条件下雌虫的产卵量最大，产卵历期也最长，分别为 98.33 d 和 21.33 d。这些研究结果表明，白蜡窄吉丁种内个体间相互感知的阻断对成虫的取食、发育和繁殖活动存在明显影响，且嗅觉在其种群内的交流活动中作用最重要，其次是视觉。此外，个体之间的相互干扰或竞争对白蜡窄吉丁成虫的寿命和繁殖力也可能存在一定的影响。这为生产上采用隔离措施如营造混交林带防治该虫提供了理论基础。

关键词：白蜡窄吉丁；饲养条件；寿命；取食量；产卵量；产卵历期

中图分类号：S763.301　**文献标识码**：A　文章编号：0454-6296(2012)03-0330-06

Influence of separate rearing on adult longevity and fecundity of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae)

LU Ji-Fang[1], WANG Xiao-Yi[1,*], YANG Zhong-Qi[1,*], LIU En-Shan[2], BAO Jin-Mei[2], WANG Jun-Ping[3], LIU Yun-Cheng[3], ZHANG Xian-Wen[3] (1. Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Guangang Forest Park, Tianjin 300274, China; 3. Forestry Station of Saima Town of Fengcheng County, Fengcheng, Liaoning 118113, China)

Abstract: The emerald ash borer (EAB), *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), is an important international quarantine insect pest. To understand the influence of different rearing conditions and intraspecific individual communications on biological parameters of the EAB adults, the adult longevity, food consumption, oviposition and oviposition duration were determined by group rearing, couple rearing, single female rearing without separation, single female rearing under visual separation and single female rearing under olfactory separation in laboratory. The results showed that separate rearing reduced the longevity and fecundity of EAB adults. The adult longevity and fecundity differed significantly ($P<0.05$) among different treatments, but there was no significant difference in oviposition ($P>0.05$). No separation for single female rearing gave the longest average longevity (32.40 d), while group rearing caused the shortest average longevity (20.77 d). The average longevity in the treatment of single female rearing was longer than those in couple rearing and group rearing. For single female rearing, adults with visual separation consumed the maximum ash leaf (156.16 mm^2 per day), while those with olfactory separation consumed the least ash leaf (107.35 mm^2 per day). No separation for single female rearing caused the highest oviposition and the longest oviposition duration,

基金项目：国家自然科学基金项目(30972377)；美国农业部动植物检疫局资助项目(USDA-APHIS)

作者简介：路纪芳，女，1984 年生，河南禹州人，硕士研究生，研究方向为害虫生物防治，E-mail：senbaoljf20052186@126.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: xywang@caf.ac.cn; yzhqi@caf.ac.cn

收稿日期 Received: 2011-12-09；接受日期 Accepted: 2012-03-06

which was 98. 33 d and 21. 33 d, respectively. It is concluded that block of intraspecific individual communications significantly influences the feeding, development and fecundity of EAB adults, and olfactory plays the most important roles in intraspecific individual communications and vision follows. In addition, disturbance or competition among individuals may also have some effects on the longevity and fecundity of EAB adults. These findings provide theoretical supports for the EAB management using separation measures such as planting mixed tree species.

Key words: *Agrilus planipennis*; rearing conditions; longevity; leaf consumption; oviposition; oviposition duration

白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire，又名花曲柳窄吉丁、梣小吉丁，属鞘翅目吉丁甲科，异名 *A. marcopoli* Obenberger，主要危害绒毛白蜡 *Fraxinus velutina*、水曲柳 *F. mandshurica*、美国白蜡 *F. americana*、大叶白蜡(花曲柳) *F. rhynchophylla*、白蜡 *F. chinensis* 等木犀科白蜡属树木(侯陶谦，1986；Wang *et al*., 2010)。该虫是东北亚地区(中国、日本、朝鲜、蒙古)及俄罗斯远东地区的本土害虫(于诚铭，1992；Haack *et al*., 2002)，在我国主要分布在黑龙江、吉林、辽宁、山东、内蒙古(于诚铭，1992)、河北、北京、天津和台湾等地(潘志刚和游应天，1994；Liu *et al*., 2003；赵汗青等，2006)。20 世纪 60 年代，白蜡窄吉丁在我国黑龙江哈尔滨市和辽宁沈阳市曾猖獗发生，造成大量白蜡树死亡(刘义果，1966；于诚铭，1992；刘海清等，1996)。2002 年在美国密歇根州、加拿大安大略省等地发现该虫的分布(Haack *et al*., 2002；Baranchikov *et al*., 2008)，且分布范围仍在不断扩大，已成为国际性检疫害虫(赵汗青等，2006)。

目前，关于白蜡窄吉丁年生活史和生态学习性已基本研究清楚(赵同海等，2005；Wang *et al*., 2010)。近年来，国外一些学者探索了视觉和嗅觉等感受系统对白蜡窄吉丁成虫寻找寄主和交配行为的影响。Pureswaran 和 Ploand(2009)研究了视觉和嗅觉在白蜡窄吉丁成虫短距离交配行为中的相对重要性，表明嗅觉是雄虫识别雌虫的重要感受途径。Marshall 等(2009)测定了不同诱捕方法对低密度地区白蜡窄吉丁的引诱效果，证实环割树干是最好的方法，这也说明成虫是利用嗅觉寻找寄主植物的。另外，Keena 等(2009)测定了寄主植物、温度、湿度和产卵基质对成虫寿命和繁殖力的影响，结果表明寄主植物是影响成虫产卵的最主要因素。为了探讨白蜡窄吉丁成虫个体间是否存在信息交流和相互感知及其对种群发展的影响，本研究在前人工作的基础上，采用室内隔离饲养的方法测定了视觉和嗅觉感受系统对白蜡窄吉丁成虫寿命、取食量和繁殖力等生物学参数的影响，现将结果报道如下。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

试验林位于我国天津市大港区官港森林公园内(38°56′N，117°29′E)，寄主为绒毛白蜡。调查林地为绒毛白蜡纯林，为沿海防护林的一部分。2011 年 5 月初在上述试验林地内砍伐被白蜡窄吉丁危害致死或濒死的白蜡树，并带回室内用纱网罩住，每日取新羽化且未交配的白蜡窄吉丁成虫用于试验。

1.2　实验温湿度条件的控制和记录

试验在室内自然变温条件下进行，使用深圳市华图测控系统有限公司生产的 S320TH 温湿度记录仪每天记录 5 个时间点(00:00，06:00，12:00，14:00和 18:00)的温湿度。另外，使用深圳华谊仪表有限公司生产的 MS6501 数字温度表记录封闭玻璃罐子内的温湿度。

1.3　白蜡窄吉丁的饲养和生物学指标观察统计

试验从 2011 年 5 月初白蜡窄吉丁成虫羽化之前开始，共观察了 50 d。试验开始后，每日观察上述纱网内的白蜡树木段，将刚羽化的白蜡窄吉丁成虫放入养虫笼(25 cm × 25 cm × 30 cm)内饲养，记录成虫的羽化时间，并把羽化时间不同的成虫放入不同的养虫笼内饲养。为确定成虫是否交配，每天上午 10:00 和下午 15:00 两个特定的时间观察养虫笼内成虫的交配情况，从养虫笼内取出已交配的雌虫放入特定的玻璃罐子内饲养，记录取出虫子单独饲养的时间，并选择健康状况相似的成虫进行接下来的试验。

试验分为单雌饲养、单对饲养和群体饲养 3 个处理。单雌饲养：在容积为 2 L 的玻璃罐子内放入 1 头刚交配过的雌虫饲养；单对饲养：在容积为 2 L 的玻璃罐子内放入 1 对成虫(1 头雌虫和 1 头雄虫)

饲养；群体饲养：在容积为 5 L 的烧杯内放入 3 对成虫(3 头雌虫和 3 头雄虫)饲养(图 1：A)。单雌饲养又分为 3 个处理：无隔离单雌饲养(图 1：B)、视觉隔离单雌饲养和嗅觉隔离单雌饲养。视觉隔离：用报纸隔开养虫玻璃罐子，使成虫之间相互不能看到(图 1：C)；嗅觉隔离：用盖子把养虫玻璃罐子密封，为成虫创造一个封闭的生存环境，使其相互之间不能感受到其他个体的气味(图 1：D)。每 2 d 为养虫笼和玻璃罐子内饲养的成虫更换新鲜的白蜡树叶。另外，为了保持树叶的新鲜和玻璃罐子内的湿度，把补充营养的新鲜树叶的叶柄放入装有蒸馏水的 5 mL 塑料试管内(Gould *et al.*, 2011)。对于上述单雌饲养的白蜡窄吉丁成虫，为成虫更换的成熟树叶的厚度和颜色应尽量相近，并收集成虫取食后剩余的叶片，用座标纸法测量成虫的取食面积，面积大于 1/2 mm^2 的方格计数，不足 1/2 mm^2 的方格则不计数(Leather *et al.*, 1994)。

白蜡窄吉丁的卵多产于树干老翘皮下面或纵裂缝内，不裸露，表面难以发现。试验使用牛皮纸作为成虫的产卵基质(Gould *et al.*, 2011)，把牛皮纸折叠成重叠状(图 1：E，F)，从而为成虫创造隐蔽的产卵环境。每个处理设 10 个重复，每天上午 10:00观察一次成虫的产卵情况，记录每头成虫的产卵日期、产卵量和死亡日期，统计各处理下成虫的寿命、产卵量和产卵历期等。











图 1 白蜡窄吉丁成虫的不同隔离饲养方法(A－D)和产卵基质(E，F)

Fig. 1 Different separate rearing methods (A－D) and oviposition substrates (E, F) for adults of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*

A：群体饲养 Group rearing；B：无隔离饲养 No separation rearing；C：视觉隔离饲养 Visual separation rearing；D：嗅觉隔离饲养 Olfactory separation rearing；E：成虫产卵基质 Oviposition substrates；F：嗅觉隔离产卵基质 Oviposition substrates for olfactory separation rearing.

1.4 数据分析

本试验所有数据采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析，不同处理间的均值差异采用 LSD 法多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同隔离饲养条件下白蜡窄吉丁成虫的寿命

本研究所测定的成虫寿命为室内条件下成虫从木段内羽化出孔到成虫死亡的时间。对不同处理下成虫寿命的统计分析结果显示，各处理间白蜡窄吉丁成虫平均寿命差异极显著($F=3.94$, $df=4, 45$, $P=0.0079$)，无隔离单雌饲养条件下平均寿命最长，为 32.40 d，其次是视觉隔离和嗅觉隔离，分别是 30.40 d 和 29.80 d，而群体饲养条件下寿命最短，为 20.77 d(图 2)。说明隔离视觉和嗅觉减短了成虫的寿命，且嗅觉的隔离作用大于视觉。

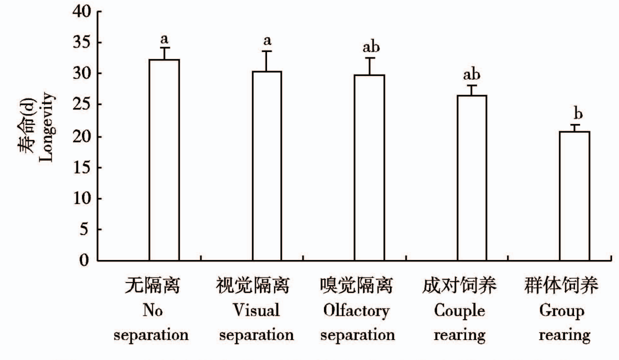


图 2 不同饲养条件下白蜡窄吉丁成虫的平均寿命

Fig. 2 Average life span of adults of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, under different rearing conditions

柱上不同字母表示各处理间经多重比较(LSD)在 $P<0.05$ 水平上差异显著；下同。Different letters above bars show significant difference among treatments at $P<0.05$ based on analysis of variance (LSD). The same below.

另外，单雌饲养条件下成虫的平均寿命(30.87

d)均长于非单雌饲养(单对饲养和群体饲养)(23.58 d)，且两者之间差异极显著($F = 11.89$, $df = 1, 48$, $P = 0.0012$)，表明在室内饲养条件下，白蜡窄吉丁成虫个体间对空间和食物的竞争作用会明显减短成虫的寿命。

2.2　不同隔离饲养条件下白蜡窄吉丁成虫的取食量

单雌饲养3个处理下每头成虫的日均取食量差异显著($F = 3.46$, $df = 2, 25$, $P = 0.0473$)，视觉隔离饲养的日均取食量最大，为156.16 mm^2，其次是无隔离饲养和嗅觉隔离饲养，分别为136.46 mm^2和107.35 mm^2(图3)。表明隔离视觉对成虫日均取食量没有影响，隔离嗅觉则会降低成虫的日均取食量。

除了日均取食量外，还测定了每头成虫一生的总取食量，无隔离条件下的总取食量最大，为2 828.90 mm^2，其次是视觉隔离饲养和嗅觉隔离饲养，分别为2 762.00 mm^2和2 135.11 mm^2，但三者之间无显著差异($F = 0.76$, $df = 2, 25$, $P = 0.4791$)(图4)，这表明视觉隔离和嗅觉隔离对成虫的总取食量没有明显的影响。

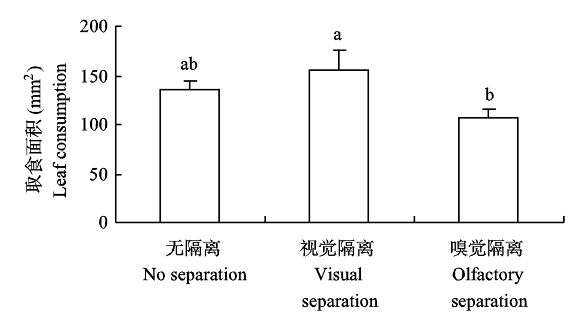


图3　白蜡窄吉丁成虫日均取食量

Fig. 3　Average leaf consumption of adults of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* per day

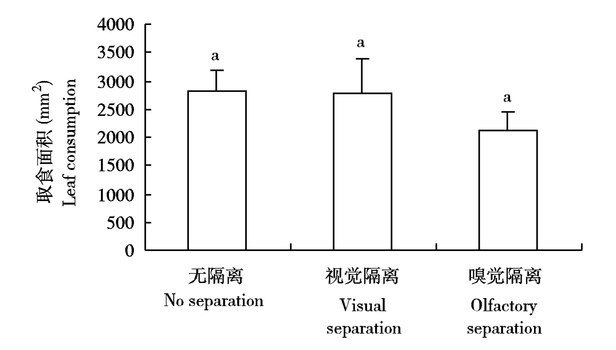


图4　白蜡窄吉丁成虫平均总取食量

Fig. 4　Average total leaf consumption per adult of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*

2.3　不同隔离饲养条件下白蜡窄吉丁成虫的产卵量

成虫一生可交配1～4次(Wang *et al.*, 2010)，试验中采用的雌虫只交配了一次，从而部分处理的成虫没有产卵，因此试验使用产卵成虫所产卵粒个数来进行统计分析。无隔离单雌饲养、视觉隔离单雌饲养、嗅觉隔离单雌饲养和单对饲养4种处理下的成虫产卵量测定结果显示，各处理间成虫的平均产卵量无显著差异($F = 3.13$, $df = 3, 15$, $P = 0.0570$)，无隔离饲养条件下成虫平均产卵量最大，为98.33粒，其次是视觉隔离饲养和嗅觉隔离饲养，分别为50.25粒和37.33粒(表1)。此表明视觉和嗅觉隔离处理会减少成虫的产卵量，但是影响效果不显著。

另外，研究还测定了单雌饲养和单对饲养的产卵量，测定结果显示单雌饲养条件下的平均产卵量(55.38粒)大于单对饲养(25.20粒)，但差异也未达到显著水平($F = 2.65$, $df = 1, 17$, $P = 0.1221$)，说明室内饲养空间的限制对成虫产卵量没有显著的影响。

表1　白蜡窄吉丁成虫在不同隔离饲养条件下的产卵量

Table 1　Oviposition of adults of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, under different rearing conditions

饲养条件 Rearing conditions	产卵量(粒) Number of eggs laid per female
单对饲养 Couple rearing	25.20±6.68 b (5－54)
无隔离单雌饲养 No separation for single female	98.33±34.07 a (34－150)
视觉隔离单雌饲养 Visual separation rearing for single female	50.25±26.65 ab (10－125)
嗅觉隔离单雌饲养 Olfactory separation rearing for single female	37.33±7.79 ab (12－67)

表中数据为各处理均值±*SE*，括号内数据为变化幅度；数据后不同字母表示各处理间经多重比较(LSD)在$P < 0.05$水平上差异显著。Data in the table are means ± *SE*, and those in parentheses are the range. Different letters following the data show significant difference among treatments at $P < 0.05$ based on analysis of variance (LSD).

2.4　不同隔离饲养条件下白蜡窄吉丁成虫的产卵历期

通过50 d对室内条件下白蜡窄吉丁成虫产卵进度的观察，得到成虫平均产卵历期，结果显示，无隔离单雌饲养的平均产卵历期最长，为21.33 d，其次是嗅觉隔离单雌饲养和视觉隔离单雌饲养，分

别为 14.00 d 和 11.00 d，4 种处理间差异不显著（$F=1.41$，$df=3, 15$，$P=0.2781$）（图 5）。结果说明视觉和嗅觉隔离处理在一定程度上缩短了成虫的产卵历期。

另外，本试验还测定了单雌饲养和单对饲养两种处理下的成虫产卵历期，结果显示，单雌饲养条件下的平均产卵历期（14.77 d）均比单对饲养（9.17 d）长，但二者无显著差异（$F=1.66$，$df=1, 17$，$P=0.2144$），表明室内饲养空间的限制对成虫产卵历期没有明显影响。

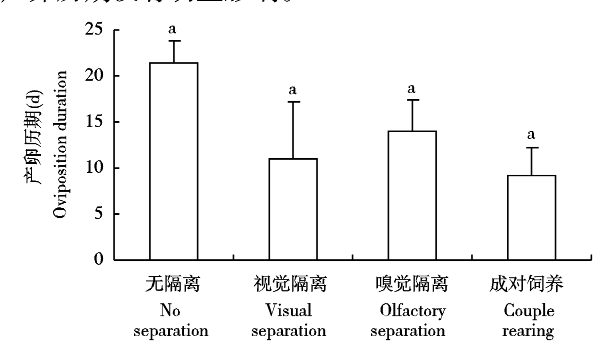


图 5 不同饲养条件下白蜡窄吉丁成虫产卵历期

Fig. 5 The oviposition duration of adults of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, under different rearing conditions

3 讨论

近年来，昆虫对寄主植物的识别和产卵行为的研究是昆虫与寄主相互关系领域的重要内容。研究表明，昆虫的视觉和嗅觉对其寻找寄主植物起着重要的导向和定位作用（曾鑫年等，2003）。本研究结果为了解昆虫视觉和嗅觉感受系统在成虫个体间种内交流和产卵行为中的作用及其对种群发展的影响提供了依据。白蜡窄吉丁成虫羽化出孔后在树冠枝叶上取食补充营养（于诚铭，1992；Wang *et al*.，2010）。白蜡窄吉丁成虫的取食量受多种因素影响，如不同寄主植物的营养成份会影响到白蜡窄吉丁成虫的取食量（Chen and Poland，2009）。于诚铭（1992）描述到每头白蜡窄吉丁成虫 1 d 可食叶 45.00 mm^2，而本研究测定成虫的日均取食量为 133.32 mm^2，可能是实验所用的植物材料和实验条件不同造成的，这与 Chen 和 Poland（2009）增加光照和环割树干会降低植物营养的研究结果相符合。

在白蜡窄吉丁成虫的交配盛期，雄虫利用嗅觉通过雌虫释放的短距离化学物质识别和定位雌虫，这种化学物质也是衡量雌虫自身繁殖力的一个良好的指标，而雄虫长距离寻找配偶行为则主要通过视觉感应（Lelito *et al*.，2009）。本研究采用隔离视觉和嗅觉饲养成虫，雌虫不能看到或感受到雄虫，隔断了雌虫个体间的信息交流，这可能是导致视觉和嗅觉隔离条件下成虫寿命和繁殖力较低的主要原因。这些研究结果对合理营林或利用林分改造措施抑制害虫的发生有一定的指导作用，如通过营造行状混交林，并在林缘交互种植其他树种，形成有效的隔离条带，从而达到减少害虫个体间信息交流，降低害虫自然种群密度的效果。

白蜡窄吉丁成虫常在树干老翘皮下面或纵裂缝内产卵（Liu *et al*.，2003；Wang *et al*.，2010）。Keena 等（2009）在室内测定了不同产卵基质对白蜡窄吉丁成虫产卵量的影响，表明牛皮纸是最好的产卵基质。本研究在前人研究的基础上进行了方法上的改进尝试，把牛皮纸折叠后人为制造出缝隙，这样更接近林间昆虫产卵位置的实际情况，减小了误差。

林间白蜡窄吉丁成虫常在气温较高的晴天活动，在强光下的树冠层叶面上，不停地展翅、飞舞，作短距离飞行（刘义果，1966；于诚铭，1992；Liu *et al*.，2003；Wang *et al*.，2010）。本研究在较小的封闭空间内饲养多对白蜡窄吉丁成虫，因为其寿命和繁殖力有所降低，这个结果可能是由个体间的竞争行为和相互干扰作用造成的。另外，林间白蜡窄吉丁成虫面临的环境要比室内复杂的多，嗅觉和视觉感受系统的作用会更加重要，它们对白蜡窄吉丁成虫寿命和繁殖力的影响程度如何还尚需进一步的研究。

参考文献（References）

Baranchikov Y, Mozolevskaya E, Yurchenko G, Kenis M, 2008. Occurrence of the emerald borer ash, *Agrilus planipennis* in Russia and its potential impact on European forestry. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 38(2): 233-238.

Chen YG, Poland TM, 2009. Interactive influence of leaf age, light intensity, and girdling on green ash foliar chemistry and emerald ash borer development. *Journal of Chemical Ecology*, 35(7): 806-815.

Haack RA, Jendek E, Liu HP, Marchant KR, Petrice TR, Poland TM, Ye H, 2002. The emerald ash borer: a new exotic pest in North America. *Newsletter of the Michigan Entomological Society*, 47(3/4): 1-5.

Hou TQ, 1986. *Agrilus marcopoli* Obenberger. In: Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences ed. Agricultural Insects of China (Vol. Ⅰ). Agricultural Publishing House, Beijing. 438-447. [侯陶谦，1986. 花曲柳窄吉丁. 见：中国科学院动物研究所 主编. 中国农业昆虫（上册）. 北京：农业出版社. 438-447]

Gould JR, Ayer T, Fraser I, 2011. Effects of rearing conditions on

reproduction of *Spathius agrili* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of the emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae). *Journal of Economic Entomology*, 104(2): 379 - 387.

Keena MA, Gould JR, Bauer LS, 2009. Factors that influence emerald ash borer (*Agrilus planipennis*) adult longevity and oviposition under laboratory conditions. USDA Research Forum on Invasive Species. 81.

Leather SR, Ahmed SL, Hogan L, 1994. Adult feeding preference of the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *European Journal of Entomology*, 91: 385 - 389.

Lelito JP, Böröczky K, Jones TH, Fraser I, Mastro VC, Tumlinson JH, Baker TC, 2009. Behavioral evidence for a contact sex pheromone component of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire. *Journal of Chemical Ecology*, 35(1): 104 - 110.

Liu HP, Bauer LS, Gao RT, Zhao TH, Petrice TR, Haack RA, 2003. Exploratory survey for the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae), and its natural enemies in China. *The Great Lakes Entomologist*, 36(3/4): 191 - 204.

Liu HQ, Ma RS, Li QH, 1996. Investigation and control techniques of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire. *Tianjin Agricultural Science and Technology*, (1): 46 - 48. [刘海清，马润生，李庆海，1996. 梣小吉丁的调查研究及防治技术. 天津农林科技，(1): 46 - 48]

Liu YG, 1966. A Study on the Ash Buprestid Beetle, *Agrilus* sp. in Shenyang. Annual Report of Shenyang Horticulture Research Institute, Shenyang. 1 - 16. [刘义果，1966. 沈阳地区花曲柳吉丁虫的研究. 沈阳：沈阳市园林科学研究院年报. 1 - 16]

Marshall JM, Storer AJ, Fraser I, Mastro VC, 2009. Efficacy of trap and lure types for detection of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) at low density. *Journal of Applied Entomology*, 134(4): 296 - 302.

Pan ZG, You YT, 1994. Growing Exotic Trees in China. Beijing Science and Technology Press, Beijing. 632 - 643. [潘志刚，游应天，1994. 中国主要外来树种引种栽培. 北京：北京科学技术出版社. 632 - 643]

Pureswaran DS, Poland TM, 2009. The role of olfactory cues in short-range mate finding by the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae). *Journal of Insect Behavior*, 22: 205 - 216.

Wang XY, Yang ZQ, Gould JR, Zhang YN, Liu GJ, Liu ES, 2010. The biology and ecology of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China. *Journal of Insect Science*, 128(10): 1 - 23.

Yu CM, 1992. *Agrilus marcopoli* Obenberger. In: Xiao GR ed. Forest Insects of China. 2nd ed. China Forestry Publishing House, Beijing. 400 - 401. [于诚铭，1992. 花曲柳窄吉丁. 见：萧刚柔主编. 中国森林昆虫(第二版). 北京：中国林业出版社. 400 - 401]

Zeng XN, Wu ML, Luo S, 2003. Effects of plant volatile constituents on the oviposition of citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton). *Acta Phytophylacica Sinica*, 30(2): 198 - 202. [曾鑫年，吴美良，罗诗，2003. 植物挥发性成分对柑橘潜叶蛾产卵行为的影响. 植物保护学报，30(2): 198 - 202]

Zhao HQ, Wang XY, Yang ZQ, Zhong Y, He DM, 2006. Quarantine insect pest - Emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire. *Plant Quarantine*, 20(2): 89 - 91. [赵汗青，王小艺，杨忠岐，种焱，何德敏，2006. 检疫性害虫——白蜡窄吉丁. 植物检疫，20(2): 89 - 91]

Zhao TH, Gao RT, Liu HP, Bauer LS, Sun LJ, 2005. Host range of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, its damage and the countermeasures. *Acta Entomologica Sinica*, 48(4): 594 - 599. [赵同海，高瑞桐，Liu HP, Bauer LS，孙龙强，2005. 花曲柳窄吉丁的寄主植物范围、危害和防治对策. 昆虫学报，48(4): 594 - 599]

(责任编辑：武晓颖)